

# 基于 TM 影像的城市热岛效应研究 ——以重庆市为例

刘 建<sup>1</sup>, 刘小琴<sup>3</sup>, 何政伟<sup>1,2</sup>

(1. 成都理工大学 地质灾害防治与环境保护国家重点实验室, 成都 610059; 2. 首都师范大学 资源环境与地理信息系统北京市重点实验室, 北京 100037; 3. 中铁西南科学研究院有限公司, 成都 610031)

**摘 要:** 根据 Landsat TM 数据, 利用单窗算法对重庆市主城区进行地表温度反演, 得出重庆市主城区地表温度场的分布规律, 并通过选取样区对地表温度空间分布作了对比分析。结果表明: 重庆市城区与近郊温差为 4.75℃, 城区与郊区温差达 9.88℃, 城市热岛效应明显; 城市地表温度与土地利用类型紧密相关。研究成果对于改善城市生态环境、加强科学规划有重要的参考价值。

**关键词:** 城市热岛效应; 单窗算法; 地表温度

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)05-0172-04

## Urban Heat Island Effect Based on TM Remote Sensing Image in Chongqing

LIU Jian<sup>1</sup>, LIU Xiao-qin<sup>3</sup>, HE Zheng-wei<sup>1,2</sup>

(1. National Laboratory of Geo-Hazard Prevention & GeoEnvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Beijing Municipal Key Laboratory for Resource Environment and Geo-Graphic Information System, Capital Normal University, Beijing 100037, China; 3. China Railway Southwest Research Institute Co., Ltd, Chengdu 610031, China)

**Abstract:** This paper studies the response of urban surface temperature in Chongqing. According to Landsat TM Remote Sensing, using single-window algorithm to retrieve surface temperature, obtained in Chongqing urban area the distribution of surface temperature and the sample area by selecting the spatial distribution of surface temperature were compared. The results showed that it is close to 4.75℃ with Chongqing city and Peri-urban, and temperature difference between urban and suburban areas over 9.88℃, urban heat island effect is very obvious; The urban surface temperature and land use types are closely related. The research results for improving the urban ecological environment, strengthen the scientific planning of important have important reference value.

**Key words:** urban heat island effect; single-window Algorithm; land surface temperature

近年来,随着城市化的快速发展,城市交通拥挤、环境污染、绿色空间减少等一系列问题日益突出<sup>[1]</sup>,人居环境问题日益严峻,这无疑对发展中的城市居住区环境建设提出了更高的要求,在重庆市提出建设“宜居重庆”的背景下,如何更好地把重庆建设成为宜居型的大都市,如何把握城市、人口、环境和谐发展,成为学者们讨论的重点;城市热岛效应作为评价城市宜居性的重要指标,研究城市热岛效应及其与环境的相互关系等领域成为了建设城市宜居性的中心问题之一。

由于影响城市热岛(Urban Heat Island Effect, UHI)<sup>[2]</sup>的因素及相互关系的复杂性,热岛边界的不确定性,热岛的水平结构和垂直结构的复杂性,要比较精确地描绘城市热岛特征有很大的困难<sup>[3]</sup>。传统的监测方法主要有以下三种<sup>[4]</sup>:(1)是通过城市和郊区的历年气象资料的分析来研究城市热岛的动态和现状;但是基于历史气象资料的方法只能定性分析城市热环境的演变过程,而不能实时反映城市空间热环境的现状。(2)通过布点观测;布点方式可以实时反映城市热环境,但只能刻画局部区域,不能反映城市

收稿日期: 2010-03-30

资助项目: 国家“十一五”科教支撑计划((2008BAK49B02); 国家 863 重点项目(2007AA120306)

作者简介: 刘建(1985-),男,重庆垫江人,硕士研究生,主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: liu\_jian1985@126.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

热环境的整体空间分布状况。(3) 通过建立数学模型; 但是这种方法数学模型建立比较困难、可操作性差, 不易推广使用。

随着遥感技术的发展, 遥感数据源在城市温度时间变化和空间分布研究中得到了越来越广泛的应用。它能有效、全面地探测到下垫面的温度特征, 且能周期性、动态地监测城市热环境的变化趋势, 是研究城市热岛效应的有效手段<sup>[3]</sup>。国内外许多学者利用热红外遥感资料对城市热岛效应进行了大量的研究, 并取得了良好的效果。早在 1989 年 Roth 等人利用 AVHRR 热通道 (10.5~11.5  $\mu\text{m}$ ) 数据估测了北美西海岸几个城市的城市热岛强度<sup>[5]</sup>。覃志豪<sup>[6-7]</sup>等从辐射传输方程出发, 提出了基于 Landsat TM 的单窗反演算法, 并对 5 种标准大气状态进行验证, 结果表明该算法的地表温度演算精度很高, 平均误差小于 0.4  $^{\circ}\text{C}$ <sup>[8]</sup>, 取得了较好的反演结果。Jiménez-Muñoz and Sobrino<sup>[9]</sup>提出了可以用于不同传感器的普适性算法。Weng Qihao<sup>[10]</sup>的大气校正法方法过于简单, 并且没有进行大气纠正。孟宪红<sup>[11]</sup>, 黄妙芬<sup>[12]</sup>等利用 TM 数据对以上提到的 3 种算法进行了验证, 并证明覃志豪等的方法优于 Weng Qihao 和 Jiménez-Muñoz and Sobrino 的方法<sup>[8]</sup>。笔者在前人工作的基础上, 针对重庆市的实际情况, 选用覃志豪等的单窗算法对重庆市的地表温度进行了反演, 并分析了地表温度的空间分布特征。

## 1 研究区概况与数据来源

重庆位于中国西南部, 长江上游, 北纬  $28^{\circ}10' - 32^{\circ}13'$ , 东经  $105^{\circ}11' - 110^{\circ}11'$ 。辖区东西长 470 km, 南北宽 450 km, 幅员面积 8.24 万  $\text{km}^2$ 。东邻湖北、湖南, 南靠贵州, 西接四川省泸州市、内江市、遂宁市, 北连陕西省以及四川省广安市、达州市。主城区是重庆的行政、金融、商贸中心和水陆交通枢纽, 是全市经济最发达、城镇化水平最高的区域。范围包括渝中区、大渡口区、江北区、南岸区、沙坪坝区、九龙坡区、北碚区、渝北区、巴南区 9 个行政区, 面积 5 473  $\text{km}^2$ , 区域内以丘陵、低山为主, 平均海拔为 400 m, 是典型的山地城市。地势由西向东逐步升高, 并从南北两面向长江、嘉陵江河谷倾斜, 起伏较大, 多呈现“一山一岭”、“一山一槽二岭”的自然景观。

由于重庆属中亚热带季风气候, 具有夏热、冬暖、风速小的特点, 研究区选取 2007 年 9 月 20 日过境的 Landsat TM 数据, 热红外数据(第六波段, 波长 10.4~12.5  $\mu\text{m}$ ), 空间分辨率为 60 m, 全色波段分辨率为 30 m, 运用覃志豪的单窗算法进行温度反演, 从地表

温度场的空间分布规律来分析重庆市主城区城市热岛效应。

## 2 研究方法

### 2.1 单窗算法

覃志豪等<sup>[6, 13]</sup>经过多年的研究, 由地表热辐射传导方程, 通过引进大气平均温度的概念和一系列假设, 建立了适用于从 Landsat TM 6 波段反演地表温度的算法, 该算法的基本形式为

$$T_s = [a(C + D - 1) + b(1 - C - D) + C + D] T_{\text{sensor}} - DT_a / C \quad (1)$$

式中:  $a, b$ ——常量,  $a = 67.3554$ ,  $b = 0.45861$ <sup>[6]</sup>;  $C, D$ ——中间变量。

$$C = \varepsilon \tau_a \quad (2)$$

$$D = (1 - \tau_a) [1 + (1 - \varepsilon) \tau_a] \quad (3)$$

式中:  $\varepsilon$ ——地表比辐射率;  $\tau_a$ ——大气透射率;  $T_a$ ——大气平均作用温度。对于(1)式, 只要能确定地表比辐射率、大气透射率和大气平均作用温度这 3 个参数, 就能进行 LST(地表温度)反演。

### 2.2 计算亮度温度

亮度温度是传感器在卫星高度测得的热辐射强度所对应的温度, 热辐射强度值与  $DN$  值的数学关系如下<sup>[6, 14]</sup>。

$$L(\lambda) = \text{gain} \cdot DN + \text{offset} \quad (4)$$

式中:  $L(\lambda)$ ——传感器接收到的辐射强度 ( $\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ );  $\text{gain}$ ——该波段所对应的增益量;  $DN$ ——像元灰度值;  $\text{offset}$ ——该波段的偏移量;  $\text{gain}$  和  $\text{offset}$  可以从 TM 图像的头文件中获取。

根据 Planck 辐射函数, 可将热红外波段的在星辐射亮度值转成在星辐射温度值  $T_{\text{sensor}}$ <sup>[14]</sup>, 即:

$$T_{\text{sensor}} = K_2 / \ln[1 + K_1 / L(\lambda)] \quad (5)$$

式中:  $T_{\text{sensor}}$ ——亮度温度 ( $K$ );  $K_1, K_2$ ——常用量, 对于 TM 数据而言,  $K_1 = 60.776$ ,  $K_2 = 1260.56 K$ <sup>[14]</sup>。

### 2.3 地表比辐射率 $\varepsilon$ 的确定

覃志豪等提出的基于 TM 6 波段范围内地表比辐射率的估计方法<sup>[7]</sup>来确定研究区地表比辐射率。针对自然表面混合像元尺度上的地表比辐射率一般通过下式来估算:

$$\varepsilon = P_V R_V \varepsilon_V + (1 - P_V) R_m \varepsilon_m + d\varepsilon \quad (6)$$

式中:  $R_V$ ——植被的温度比率;  $R_m$ ——建筑表面的温度比率, 定义为  $R = (T_i/T)^4$ , 其中  $i$  代表植被或建筑物的表面温度,  $T$  为混合像元温度<sup>[4]</sup>;  $\varepsilon_V$  和  $\varepsilon_m$  为植被和建筑物的比辐射率, 根据覃志豪等<sup>[7]</sup>提供经验值, 可取植被  $\varepsilon_V = 0.986$ , 建筑物取  $\varepsilon_m = 0.972$ ; 在地表相

对比较平整情况下, 一般可以取  $d\epsilon=0$ 。

$R_V$  和  $R_m$  的确定采用覃志豪等提出的经验公式计算<sup>[7]</sup>:

$$R_V=0.9332+0.0585P_V \tag{7}$$

$$R_m=0.9886+0.1287P_V \tag{8}$$

$P_V$  为植被覆盖率可用下式计算:

$$P_V=(NDVI-NDVI_s)/(NDVI_v-NDVI_s) \tag{9}$$

其中 NDVI 是归一化植被指数,  $NDVI_v$ 、 $NDVI_s$  分别是植被和裸土的 NDVI 值, 由于没有详细的区域植被和土壤光谱资料, 采用覃志豪<sup>[6, 13]</sup> 经验值以  $NDVI_v=0.70$  和  $NDVI_s=0.05$  来进行植被覆盖度的近似估计。

2.4 计算大气平均温度  $T_a$  和大气透射率  $T_e$

大气平均作用温度主要取决于大气剖面气温分布和大气状态。由于卫星飞过研究区上空的时间很短, 一般情况下很难实施实时大气剖面数据和大气状态的直接观测。覃志豪等<sup>[13]</sup> 根据 MODTRAN 软件提供的 4 种标准大气, 分别建立了大气平均温度和近地空气温度的经验关系式。由于研究区为中纬度地区且研究影像为夏季, 故采用如下经验公式:

$$T_a=16.0110+0.92621T_0 \tag{10}$$

式中:  $T_0$  ——近地空气温度 (K);  $T_a$  ——大气平均温度 (K)。

大气透射率对地表热辐射在大气中的传导有非常重要的影响, 因而是地表温度遥感的基本参数<sup>[13]</sup>。不论单窗算法还是劈窗算法, 都需要较精确的大气透射率估计。覃志豪等根据 MODTRAN 软件提供的 4 种标准大气建立了大气透射率与大气总水汽含量的关系式, 即

夏季, 如果  $0.4<\omega<1.6$ , 则

$$T_e=0.974290-0.08007\omega \tag{11}$$

冬季, 如果  $1.6<\omega<3.0$ , 则

$$T_e=1.031412-0.11536\omega \tag{12}$$

式中:  $\omega$  ——大气总水分含量, 由于缺乏过境时大气实测数据, 本文选择经验值  $\omega=1.5\text{ g/cm}$  来进行大气透射率的确定。

将获取的亮度温度、地表比辐射率、大气平均温度和大气透射率代入式(1), 可求出地表温度。

3 温度反演及结果分析

3.1 温度反演技术路线

在获取亮度温度、地表比辐射率、大气平均温度和大气透射率等温度反演所必须的参数后, 对研究区域采用单窗算法(见公式 1)反演地表温度, 重庆市 DEM 如图 1 所示, 反演结果如图 2 所示。

3.2 城市地表温度空间分布分析

重庆市地表温度空间分布如图 2 所示, 卫星过境时刻的陆地地表温度为  $19.22\sim 40.93\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 平均温度为  $27.11\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 温差为  $21.72\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 从图 2 中可以看出, 重庆市中心城区地表温度明显比郊区高, 主要集中于解放牌商业组团区, 菜园坝火车站附近, 机场附近, 大学城区开发区, 沙坪坝商业组团区, 杨家坪商组团区等区域。这可能与该区域城市建筑密度或者其下垫面存在大量热源有关, 原因在于裸露的地表吸收热量较快, 裸石、水泥材质、土壤等都是不良导体, 吸收的太阳辐射都用在加热很薄的陆地表面, 传导到土壤下层的热量很少, 并且城市建筑物和人工铺砌的坚实路面大多数为不透水层, 用于蒸发消耗的热量少, 植被覆盖度低, 粗糙度大, 这些因素促使城市下垫面地表温度比郊区下垫面温度高。

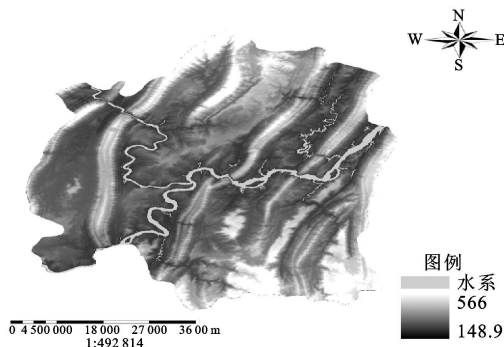


图 1 重庆市主城区 DEM 分布图

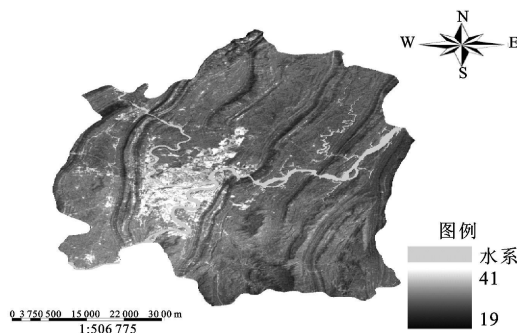


图 2 重庆市主城区温度反演结果

为了对比城区和郊区的温度差异, 分别在城区(渝中区)、近郊(渝北区)、郊区(北碚区)各选取一个样区, 每块样区大小为  $1.0\text{ km}\times 1.0\text{ km}$ 。从图 3 中可以看出城区地表温度最高, 主要分布于  $23.21\sim 39.73\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 平均温度为  $33.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 近郊地表温度次之, 主要分布于  $22.15\sim 33.72\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 平均温度为  $29.17\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 郊区地表温度最低, 主要分布于  $19.22\sim 29.44\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 平均温度为  $24.04\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从地表平均温度来看, 城区比近郊高  $4.75\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 与郊区温差达  $9.88\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 说明重庆市主城区存在明显的热岛效应。

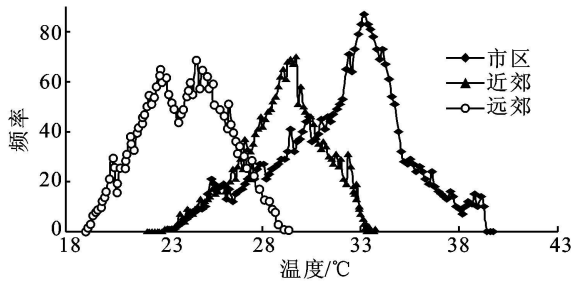


图 3 城区、近郊、郊区地表温度对比图

为了研究不同地表类型对于温度的差异,在研究区仍选取大小为  $1.0\text{ km} \times 1.0\text{ km}$  的样区,在样区中分别提取水体、植被、裸地这三种地表类型的温度。这 3 种典型的纯像元温度频率分布如图 4 所示。从图 4 中可以看出,裸地的地表温度最高,主要分布于  $22.05 \sim 39.05^\circ\text{C}$ , 平均温度为  $32.47^\circ\text{C}$ ; 植被像元温度比较低,主要分布于  $19.36 \sim 26.12^\circ\text{C}$ , 平均温度为  $23.19^\circ\text{C}$ ; 水体像元温度最低,主要分布于  $22.05 \sim 24.83^\circ\text{C}$ , 平均温度为  $22.15^\circ\text{C}$ 。从平均温度来看,裸地比植被地表温度高  $9.28^\circ\text{C}$ , 比水体高  $10.32^\circ\text{C}$ 。说明地表温度与地表覆盖类型有密切关系。

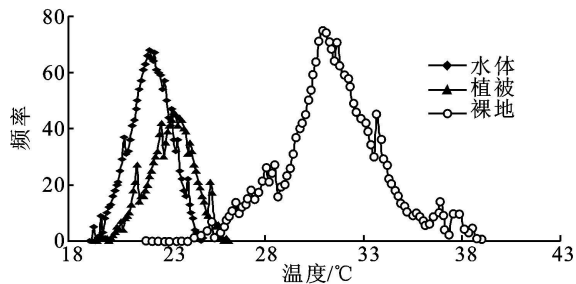


图 4 水体、植被、裸地地表温度对比图

## 4 结论

(1) 重庆市主城区地表温度由城区向郊区呈现逐渐降低,城区与近郊温差为  $4.75^\circ\text{C}$ ,城区与郊区温差达  $9.88^\circ\text{C}$ ,城市热岛效应明显;(2) 城市地表温度与土地利用类型紧密相关,裸地地表温度平均温度比植被高  $9.28^\circ\text{C}$ ,比水体高  $10.32^\circ\text{C}$ ,不同地表覆盖类型的地表温度差异显著,同时也反映出下垫面的植被和水域对温度起重要的调节作用,能够有效地缓解城市热岛效应。

由于无法获取卫星过境时刻的地表温度和过境时刻的同步气象观测数据,所以没有对地表反演温度结果精度进行客观的评价,只是从温度分布格局上做了定性探讨,在今后的工作中,将改进温度反演结果的可靠性与提高陆地表面度反演的精度。

致谢: 研究工作和论文得到了重庆市地理信息中心,重庆市遥感中心的大力支持,在此表示衷心的感谢! 同时,向为本文提出宝贵修改意见的评审专家表示感谢!

## 参考文献:

- [1] 郑蕉,陈文波,乐新贵. 基于 Landsat ETM+ 图像的南昌市地表温度反演与分析[J]. 江西农业大学学报, 2007 (3): 490-494.
- [2] 肖荣波,欧阳志云,李伟峰,等. 城市热岛的生态环境效应[J]. 生态学报, 2005, 25(8): 2056-2060.
- [3] 赵丽丽,赵云升,董贵华. 基于 ETM+ 遥感影像的城市热岛效应监测技术研究[J]. 中国环境监测, 2006, 22 (3): 59-63.
- [4] 黄妙芬,陈波,刘素红,等. 基于 TM 的城市温度异常区分析[J]. 国土资源遥感, 2007, 73(3): 23-27.
- [5] 胡远满,徐崇刚,布仁仓,等. RS 与 GIS 在城市热岛效应研究中的应用[J]. 环境保护科学, 2002, 28(110).
- [6] 覃志豪, Zhang Minghua, Arnon Karnieli, 等. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法[J]. 地理学报, 2001, 56(4): 456-466.
- [7] 覃志豪,李文娟,徐斌,等. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感, 2004, 3(1): 28-32.
- [8] 李净. 基于 Landsat-5 TM 估算地表温度[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(4): 322-326.
- [9] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A. A Generalized Single-channel Method for Retrieving Land Surface Temperature from Remote Sensing Data[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(doi: 10.1029/2003JD003480).
- [10] Weng Qihao, Lu Dengsheng, Schubring Jacquelyn. Estimation of Land Surface Temperature-vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 89: 467-483.
- [11] 孟宪红,吕世华,张宇,等. 使用 LANDSAT-5TM 数据反演金塔地表温度[J]. 高原气象, 2005, 24(5): 721-726.
- [12] 黄妙芬,邢旭峰,王培娟,等. 利用 Landsat/TM 热红外通道反演地表温度的三种方法的比较[J]. 干旱区地理, 2006, 29(1): 133-137.
- [13] 覃志豪, LI Wenjuan, ZHANG Minghua, 等. 单窗算法的大气参数估计方法[J]. 国土资源遥感, 2003, 56 (2): 37-43.
- [14] 叶智威,覃志豪,宫辉力. 洪泽湖区的 Landsat TM6 地表温度遥感反演和空间差异分析[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2009, 30(1): 88-95.
- [15] 江樟焰,陈云浩,李京. 基于 Landsat TM 数据的北京城市热岛研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31 (2): 121-123.
- [16] 杜灵通. 基于 Landsat ETM+ 数据的银川城市热岛研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(4): 169-171.